

Научная статья

УДК [628.394.17:546](265.54)

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-866-880

EDN: UCNNRB



**МИКРОБНАЯ ИНДИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ  
ВОД ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)  
ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ**

**Т.В. Бойченко<sup>1</sup>, Н.К. Христофорова<sup>1, 2\*</sup>**

<sup>1</sup> Дальневосточный федеральный университет,  
690922, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, 10;

<sup>2</sup> Тихоокеанский институт географии ДВО РАН,  
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7

**Аннотация.** Методом микробной индикации дана оценка качества прибрежных вод отдельных значимых акваторий зал. Петра Великого Японского моря. Показано, что в районах, загрязненных тяжелыми металлами, численность металл-резистентных форм бактерий в гетеротрофных микробных сообществах изменяется в соответствии с типом и степенью загрязнения среды. Повышенные значения численности металл-резистентных микроорганизмов, выявленные для ряда акваторий Амурского, Уссурийского заливов и зал. Находка, показали сохранение высокой степени антропогенной нагрузки, которая фиксировалась ранее, а также выявили значительное увеличение техногенного пресса в прибрежных водах Большого Камня. Установлено, что воды Дальневосточного морского заповедника по-прежнему подвержены наименьшему промышленному воздействию и являются фоновыми для исследованной акватории.

**Ключевые слова:** микробная индикация, колониеобразующие гетеротрофные микроорганизмы, металл-резистентные микроорганизмы, залив Петра Великого, Японское море

**Для цитирования:** Бойченко Т.В., Христофорова Н.К. Микробная индикация загрязнения поверхностных вод залива Петра Великого (Японское море) тяжелыми металлами // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 4. — С. 866–880. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-866-880. EDN: UCNNRB.

Original article

**Microbial indication of pollution in the surface waters of Peter the Great Bay  
(Japan Sea) by heavy metals**

**Tatiana V. Boychenko\*, Nadezhda K. Khristoforova\*\***

\* Far Eastern Federal University, 10, Ajax Bay, Vladivostok, 690922, Russia

\*\* Far Eastern Federal University, 10, Ajax Bay, Vladivostok, 690922, Russia; Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch, Russian Ac. Sci., 7, Radio Str., Vladivostok, 690041, Russia

\* Ph.D., assistant professor, boychenko.tv@dvfu.ru, ORCID 0000-0002-1338-9479

\*\* D.Biol, professor, ORCID 0000-0002-9559-8660

\* Бойченко Татьяна Валерьевна, кандидат биологических наук, доцент, boychenko.tv@dvfu.ru, ORCID 0000-0002-1338-9479; Христофорова Надежда Константиновна, доктор биологических наук, профессор, ORCID 0000-0002-9559-8660.

**Abstract.** Water quality is assessed in some coastal areas of Peter the Great Bay, Japan Sea, by means of microbial indication. In the areas polluted with heavy metals, the number of metal-resistant forms of bacteria in heterotrophic microbial communities varies in accordance with the type and degree of environmental pollution. The heightened numbers of metal-resistant microorganisms in the Amur, Ussuri, and Nakhodka Bays indicate a high degree of anthropogenic load. The heavy industrial pressure is recorded there more than 20 years in such sites as Cape Lagerny and Cape Firsov (at the mouths of Pervaya Rechka and Vtoraya Rechka Rivers in the Amur Bay) and Lazurnaya Bay (in the Ussuri Bay) and extends recently in the coastal area at Bolshoy Kamen (Ussuri Bay), at Cape Tokarevsky (Amur Bay) and Cape Petrovsky (Nakhodka Bay). The waters in the Far Eastern Marine Reserve in the southwestern Peter the Great Bay are quite clean, with the least industrial impact caused mainly by transboundary transfer of pollutants.

**Keywords:** microbial indication, colony-forming heterotrophic microorganisms, metal-resistant microorganism, Peter the Great Bay, Japan Sea

**For citation:** Boychenko T.V., Khristoforova N.K. Microbial indication of pollution in the surface waters of Peter the Great Bay (Japan Sea) by heavy metals, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 866–880. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-866-880. EDN: UCNRRB.

## Введение

Известно, что одними из наиболее характерных загрязняющих веществ прибрежных акваторий морей Дальневосточного бассейна в силу геохимических особенностей региона и антропогенного воздействия являются тяжелые металлы [Христофорова, 1989; Чернова и др., 2002; Христофорова, Кобзарь, 2012; Яценко, 2012].

В отличие от органических загрязняющих веществ, подвергающихся процессам разложения, металлы как поллютанты способны лишь к перераспределению, проявляя тенденцию к накоплению в почвах, донных отложениях различных водных систем и в конечных звеньях трофических цепей [Будников, 1998]. Тяжелые металлы, достигая определенной концентрации в организме, начинают свое губительное воздействие — вызывают отравления и мутации [Безвербная, 2002].

Оценить последствия поступления токсикантов в среду, характер и направленность изменений, происходящих под их влиянием, возможно на основе изучения особенностей состояния как сообществ в целом, так и отдельных индикаторных организмов. Среди биологических методов контроля качества среды с начала 1990-х гг. широкое распространение получила биоиндикация с использованием индикаторных эколого-трофических групп микроорганизмов [Димитриева, 1999; Безвербная, 2002; Димитриева, Безвербная, 2002; Журавель и др., 2004; Бузолева и др., 2006, 2008; Бузолева, Кривошеева, 2013; Калитина и др., 2015; и др.].

Микробная индикация позволяет оценить степень и характер загрязнения морской среды многими контаминантами, а успешность ее обусловлена быстрым размножением и ростом численности определенных групп бактерий, т.е. оперативным откликом микроорганизмов на появление в среде соответствующего субстрата. Благодаря широкому набору ферментов микроорганизмы способны утилизировать практически все органические соединения, они отличаются быстрой адаптацией к изменяющимся условиям среды [Цыбань и др., 1990; Михайлов, 1995; Димитриева, 1999].

Металл-резистентные микроорганизмы являются частью гетеротрофов, позволяющей оценить уровень специализированного пресса на прибрежные воды [Димитриева, Безвербная, 2002; Безвербная и др., 2003].

Способность микроорганизмов выживать и размножаться в среде, содержащей металлы, зависит от генетической и/или физиологической адаптации. Все существующие механизмы защиты относятся к нескольким основным типам: активное выведение (выброс) металла из клетки, ограниченное поступление за счет изменения клеточной проницаемости, внутриклеточное связывание металла и его детоксикация, внеклеточное связывание, детоксикация путем перевода в менее токсичную форму, снижение металлчувствительности клеточных компонентов и др. [Gadd, 1990, 2000; Nies, 1999].

Залив Петра Великого, омывающий берега южного Приморья, вдается в побережье края рядом заливов второго порядка — Посыета (на юго-западе), Амурским и Уссурийским (на севере), Стрелок, Восток и Находка (на востоке). Каждый из них имеет свою специфику, отличаясь природными условиями, характером антропогенного воздействия, рекреационной нагрузкой, формируя в итоге общую картину экологического состояния прибрежной зоны и пресса человеческой деятельности на нее [Вашенко, 2000; Лукьянова др., 2012; Мощенко и др., 2019]. Нами обследовались заливы Посыета, Амурский, Уссурийский, Восток и Находка.

Оценка загрязнения вод зал. Петра Великого (ЗПВ), как и других акваторий Мирового океана, тяжелыми металлами (ТМ) уже более 40 лет производится с использованием организмов-индикаторов — бурых водорослей-макрофитов либо двухстворчатых моллюсков (мидий и устриц) по уровню содержания микроэлементов в их тканях [Христофорова, 1989]. Этот проверенный и устоявшийся метод контроля с применением аккумулирующих индикаторов имеет один существенный недостаток — он не оперативен, поскольку требует большой подготовительной работы. Так, в случае использования водорослей непосредственно до химического анализа образцов предварительно производится очистка их от обрастателей, отмывка водой с места сбора растений, сушка, гомогенизация, взятие навесок, кислотная минерализация [Христофорова, Маслова, 1983; Христофорова, Кобзарь, 2012, 2017; Кобзарь, Христофорова, 2015]. Для моллюсков — это обязательная двухсуточная дефекация, препарирование, сушка, а также гомогенизация, минерализация и анализ растворов, как правило, на атомно-абсорбционном спектрофотометре [Goldberg, 1986; Христофорова, Кавун, 1988; Cossa, 1989; Христофорова, Чернова, 1991; Христофорова и др., 2018а; Шулькин, Кавун, 2018]. В обоих подходах требуется строгое соблюдение отсутствия контакта образцов с металлами. Микробная индикация — более оперативный, доступный и недорогостоящий метод, позволяющий получить результаты в течение нескольких дней.

Цель данной работы — оценить загрязнение прибрежных вод зал. Петра Великого как акватории, наиболее подверженной воздействию человека на юге Дальнего Востока России, используя микробную индикацию.

### Материалы и методы

Материалом для исследования послужили результаты микробиологических наблюдений, выполненных в июле 2021 г. Отбор проб для анализа производили из подповерхностного слоя в стерильные пластиковые емкости, которые транспортировали для анализа в лабораторию согласно ГОСТ 31861-12. Пробы анализировали в день отбора, каждую — в трех повторностях с соблюдением сроков хранения проб по ГОСТ 31942-12 и ГОСТ 31861-12. На обследованных акваториях было выполнено 38 станций (рис. 1).

Численность колониеобразующих форм гетеротрофных микроорганизмов (КГМ) в 1 мл воды определяли с использованием метода десятикратных разведений и последующего высева аликвоты в трех повторностях на питательную среду для морских микроорганизмов (СММ) с добавлением 1,5 % агара [Youchimizu, Kimura, 1976; Наливайко, 2006]. Подсчитывали число выросших колоний. Количество металл-резистентных форм в сообществе гетеротрофных культивируемых микроорганизмов (МО) определяли также методом десятикратных разведений, используя селективные среды, приготовленные на основе СММ с добавками солей металлов в концентрациях, ингибирующих рост чувствительных форм бактерий [Руководство..., 1980]. В качестве добавок применяли хлориды металлов — Zn, Cu, Cd, Ni, Pb [Димитриева, 1999; Безвербная, 2002]. Результаты определения общей численности гетеротрофных микроорганизмов и металл-резистентных бактерий представлены на рис. 2 и 3.

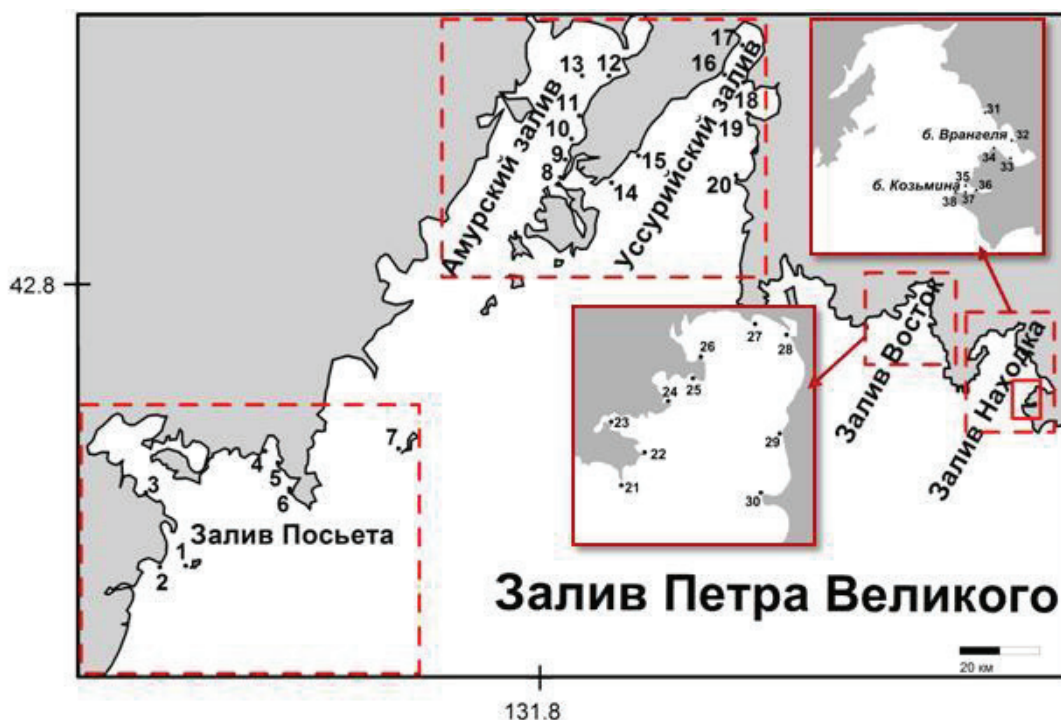


Рис. 1. Карта-схема районов работ и расположения станций отбора проб: 1 — о. Фуругельма, бухта Западная; 2 — бухта Сивучья; 3 — мыс Мраморный; 4 — бухта Троицы, порт Зарубино; 5 — бухта Идол; 6 — бухта Витязь, западная сторона; 7 — о. Большой Пелис, бухта Западная; 8 — мыс Токаревского; 9 — мыс Купера, бухта Федорова; 10 — мыс Боброва; 11 — мыс Лагерный (Первая речка); 12 — мыс Фирсова (Вторая речка); 13 — о. Скребцова; 14 — мыс Басаргина; 15 — мыс Лазурный, бухта Лазурная; 16 — мыс Вилкова; 17 — мыс Геллера; 18 — мыс Теляковского; 19 — мыс Красный (южный мыс бухты Суходол); 20 — мыс Палец (южный мыс бухты Большого Камня); 21 — мыс Пешурова; 22 — мыс Чайковского (вход в бухту Гайдамак); 23 — бухта Гайдамак; 24 — мыс Пушина, бухта Средняя; 25 — мыс Пашинникова, бухта Средняя; 26 — биостанция «Восток»; 27 — Волчанецкая протока; 28 — устье р. Литовка; 29 — мыс Елизарова; 30 — мыс Подосенова; 31 — мыс Красный, зал. Находка; 32 — бухта Врангеля, рифы перед угольным пирсом; 33 — бухта Врангеля, строящийся пирс; 34 — мыс Петровского, бухта Врангеля; 35 — скалы напротив терминала, бухта Козьмина; 36 — Бакланы камни, бухта Козьмина; 37 — канал в озеро Второе, бухта Козьмина; 38 — навигационный знак, бухта Козьмина

Fig. 1. Scheme of the study area and location of samplings: 1 — Furugelm Island, Zapadnaya Bay; 2 — Sivuchya Bay; 3 — Cape Mramorny; 4 — Troitsa Bay, port Zarubino; 5 — Idol Bay; 6 — Vityaz Bay, western side; 7 — Bolshoy Pelis Island, Zapadnaya Bay; 8 — Cape Tokarevsky; 9 — Fyodorov Bay, Cape Kuper; 10 — Cape Bobrov; 11 — Cape Lagerny at the Pervaya Rechka River mouth; 12 — Cape Firsov at the Vroraya Rechka River mouth; 13 — Skrebtsov Isle; 14 — Cape Basargin; 15 — Lazurnaya Bay, Cape Lazurny; 16 — Cape Vilkov; 17 — Cape Geller; 18 — Cape Telyakovsky; 19 — southern Sukhodol Bay, Cape Krasny; 20 — southern Bolshoy Kamen Bay, Cape Palets; 21 — Cape Peshchurov; 22 — Gaydamak Bay, Cape Tchaikovsky; 23 — Gaydamak Bay; 24 — Srednyaya Bay, Cape Pushchin; 25 — Srednyaya Bay, Cape Pashinnikov; 26 — Vostok Biological Station; 27 — Volchanets River mouth; 28 — Litovka River mouth; 29 — Cape Elizarov; 30 — Cape Podosyonov; 31 — Nakhodka Bay, Cape Krasny; 32 — Wrangel Bay, reefs in front of the coal pier; 33 — Wrangel Bay, the pier under construction; 34 — Wrangel Bay, Cape Petrovsky; 35 — Kozmin Bay, rocks opposite the oil terminal; 36 — Kozmin Bay, Baklani Rocks; 37 — Kozmin Bay, the channel to Vtoroye Lake; 38 — Kozmin Bay, navigation mark

### Результаты и их обсуждение

Для юго-запада ЗПВ, где расположена основная часть Дальневосточного государственного биосферного морского заповедника (ДВГБМЗ), характерны низкие по-



казатели общей численности гетеротрофных микроорганизмов, т.е. воды этой части акватории залива содержат небольшое количество легкоокисляемого органического вещества (рис. 2).

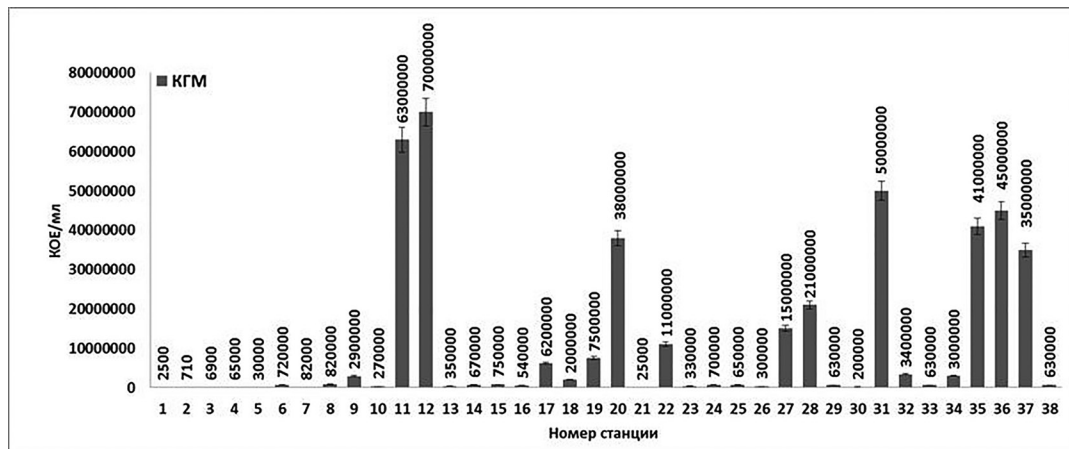


Рис. 2. Распределение численности КГМ в поверхностных водах зал. Петра Великого  
Fig. 2. Number of heterotrophic microorganisms in the surface waters of Peter the Great Bay

Согласно шкале сапробности, воды с количеством гетеротрофов до  $10^3$  кл./мл относятся к олигосапробным, до  $10^5$  — к мезосапробным,  $10^6$  кл./мл и выше — к полисапробным водам [Общая и санитарная микробиология..., 2004]. Таким образом, олигосапробным водам в юго-западной части ЗПВ принадлежат только воды бухты Сивучьей, которая характеризуется наименьшей освоенностью побережья, сохранностью береговых ландшафтов и минимальным антропогенным прессом. Воды остальной акватории являются мезосапробными, что обусловлено деятельностью двух небольших портов — Посъет и Зарубино, насыщенной антропогенной нагрузкой пос. Андреевка, двух круглогодично действующих полевых стационаров академических институтов ДВО РАН — ТИБОХ (бухта Троицы) и ТОИ (бухта Витязь).

Воды станций, расположенных на побережье залива, вдоль городской черты, являются мезосапробно-полисапробными. При этом наибольшей численностью гетеротрофов отличаются акватории двух бухт — Первой и Второй речки: у мысов Лагерный и Фирсова численность МО достигает  $10^7$  КОЕ/мл. Акватории бухт подвержены наибольшему прессу города. Воды этих небольших речек выносят в море неканализованные стоки. Несмотря на наличие Центральных городских очистных сооружений, расположенных в верховье Второй речки, вследствие их недогрузки и неполной канализованности всех стоков [Христофорова, Лосева, 2014], в том числе ливневых, происходит вынос вод, загрязненных хозяйственно-бытовыми стоками, о чем свидетельствует численность гетеротрофов.

Из вышесказанного следует, что воды вдоль западного побережья Уссурийского залива, на котором расположен восточный микрорайон г. Владивосток (район бухты Тихой), преимущественно мезосапробные, что обусловлено меньшей антропогенной нагрузкой на эту часть берега. Только в самой кутовой части залива они приобретают характер полисапробности, достигая численности КГМ  $10^7$  КОЕ/мл. Таким же количеством гетеротрофов характеризуются воды довольно закрытой бухты Большого Камня, на берегу которой расположен промышленно развитый одноименный город.

От мыса Пешурова до мыса Подосенова располагаются станции, относящиеся к зал. Восток. Численность КГМ в водах залива находится в пределах  $10^4$ – $10^7$  КОЕ/мл. Прибрежные воды испытывают преимущественно рекреационное воздействие, особенно его северное и восточное побережья [Тюрин, 1996; Христофорова и др., 2020; Галышева и др., 2022]. На шести станциях из десяти численность КГМ составляла

$10^5$  КОЕ/мл, у мыса Пещурова она была наименьшей —  $10^4$  КОЕ/мл. Волчанецкая протока и приустьевая зона р. Литовка (станции 27 и 28), имеющие самую высокую численность гетеротрофов в их водах, испытывают мощный пресс отдыхающих, располагающихся в многочисленных кемпингах и базах отдыха, а также влияние сельскохозяйственной деятельности в долине реки [Христофорова и др., 2002, 2005, 2020, 2023; Галышева, Христофорова, 2007; Галышева, 2010]. Лишь у мыса Чайковского, входного мыса в бухту Гайдамак, высокая численность КГМ связана не столько с количеством рекреантов, сколько с производственной деятельностью береговых поселков Ливадия и Южно-Морской, их судоремонтными и рыбоперерабатывающими предприятиями.

В зал. Находка нас интересовали две самые восточные бухты — небольшая бухта Козьмина и довольно крупная — Врангеля. В бухте Козьмина в конце 2008 г. построен порт Козьмино, являющийся ключевым звеном в экспорте сибирской нефти — конечным пунктом нефтепровода Восточная Сибирь — Тихий океан. Нефтеналивной терминал расположен на южном берегу, практически на выходе из бухты. В бухте Врангеля находится Восточный порт, построенный в конце 1970-х гг., осуществляющий экспорт угля в страны-импортеры и занимающий третье место по грузообороту среди портов России. Бухта имеет полузакрытую акваторию и хорошо защищена от высоких волн. АО «Восточный Порт» находится в основном в вершине бухты и тянется вдоль южного берега до мыса Петровского. Обе бухты незамерзающие и используются круглогодично.

Из восьми станций, обследованных нами в восточной части зал. Находка, на четырех численность гетеротрофов в прибрежных водах составляла  $10^7$  КОЕ/мл, причем три из них находятся в бухте Козьмина, что свидетельствует о большой нагрузке на акваторию этой небольшой бухты хозяйственно-бытовых и поверхностных стоков, а также льяльных вод, приходящих под погрузку танкеров.

Металл-резистентные МО являются частью гетеротрофов, позволяющей оценить уровень специализированного пресса на прибрежные воды ЗПВ. Для оценки полиметаллического загрязнения поверхностных вод нами были выбраны такие тяжелые металлы, как Cd, Pb и Ni, свидетельствующие преимущественно о техногенном воздействии на среду, и Cu, Zn, отражающие антропогенный пресс.

Из исследованных элементов кадмий и никель в наибольшей степени связаны со сжиганием в качестве топлива углеводородов, в состав которых они входят [Христофорова и др., 2018a]. Кадмий поступает в окружающую среду в основном при сжигании дизельного топлива, а также за счет автотранспорта с гальваническими стоками и с выбросами в атмосферу при обжиге сульфидов, входящих в состав полиметаллических руд, и выплавке металлов как сопутствующий элемент [Кадмий..., 1994\*; Христофорова и др., 2020]. Для нашего наблюдения более актуальным является поступление Cd в среду при сжигании углеводородного топлива, а также поверхностного смыва с близко расположенных автодорог. Именно эти причины привели к наибольшей численности кадмий-резистентных микроорганизмов в водах у мыса Петровского — входного мыса в бухту Врангеля ( $10^5$  КОЕ/мл) и мыса Токаревского ( $10^4$  КОЕ/мл). На половине станций наблюдения численность кадмий-резистентных МО составляла  $10^3$  КОЕ/мл (рис. 3), в их числе — станции 19 и 20 (мысы Красный и Палец), где основным источником данного поллютанта могут быть гальванические стоки крупного судоремонтного предприятия «Звезда». Возможно также поступление этого металла в морскую среду за счет поверхностного смыва с автодорог компактного города, расположенного вдоль бухты [Клинская, Христофорова, 2011]. Численность Cd-резистентных гетеротрофов, равная  $10^1$  КОЕ/мл, наблюдалась на пяти станциях, на одной отмечено нулевое значение (ст. 32 — рифы перед строящимся угольным пирсом, за пределами активной портовой деятельности). Очевидно, основным источником кадмиевого загрязнения среды является сжигание углеводородного топлива.

---

\* Кадмий: экологические аспекты. М.: Медицина, 1994. 160 с.

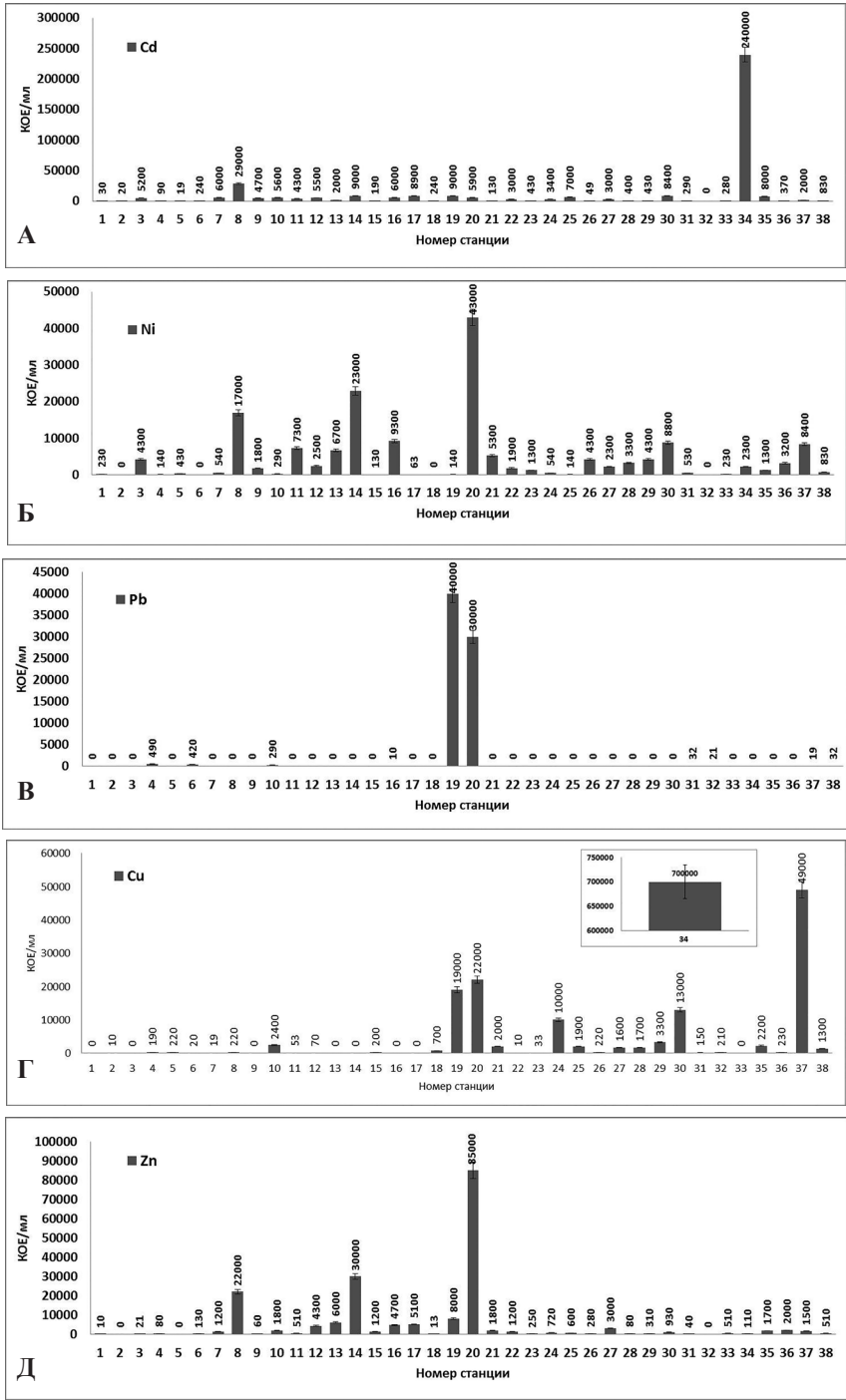


Рис. 3. Численность металл-резистентных МО в поверхностных водах ЗПВ: А — Cd-резистентные, Б — Ni-резистентные; В — Pb-резистентные; Г — Cu-резистентные; Д — Zn-резистентные микроорганизмы

Fig. 3. Number of metal-resistant microorganisms in the surface waters of Peter the Great Bay: А — Cd-resistant, Б — Ni-resistant; В — Pb-resistant; Г — Cu-resistant; Д — Zn-resistant microorganisms

Никель, как и ванадий, а также другие металлы (правда, в меньших количествах, чем первые два), сопровождает все нефтепродукты, попав в нефть из живых организмов

в далеком геологическом прошлом [Ященко, 2012; <http://neftegaz.ru/analysis/view/8121-Tyazhelye-metally-v-nefti.-Kak-s-nimi-borotsya-i-gde-primenyat>]. Поэтому сжигание флотского мазута или топлива моторных лодок и катеров вызывает его появление в водной среде и рост численности МО, устойчивых к этому металлу. Наиболее высокие показатели Ni-резистентных микроорганизмов обнаружены у трех мысов: Токаревского (уже упомянутого в связи с загрязнением кадмием), Басаргина (входного мыса в прол. Босфор Восточный, являющийся внутренней акваторией порта Владивосток) и Палец (южный мыс бухты Большого Камня) (рис. 3). Но если никелевый «след» в прибрежных водах первых двух мысов, несомненно, связан с прохождением мимо них большого числа крупнотоннажных судов и маломерного флота, то у третьего появление никеля и Ni-резистентных МО, по-видимому, вызвано гальваническими стоками судоремонтного предприятия, расположенного на берегу.

Свинец долгие годы входил в «черную тройку» наиболее опасных токсичных металлов, наряду с Hg, Cd [Христофорова, 1989]. После запрета использования тетраэтилсвинца как антидетонаторной добавки к топливу и связанного с этим резкого снижения поступления данного элемента в окружающую среду с выхлопом автотранспорта, а также прекращения изготовления наборного типографского шрифта востребованность Pb заметно снизилась, но в ряде отраслей производства она сохраняется, и во многих из них этот металл не имеет альтернативы (задержка различных опасных излучений, кислотоупорные футеровки, инсектициды, пули для стрелкового оружия, взрывчатые вещества, свинцовые белила и др.) [Христофорова и др., 2018a].

Свинец-резистентные микроорганизмы не обнаружены на 28 станциях (рис. 3). На этом «нулевом» фоне резко выделяются численностью Pb-резистентных МО, достигающей  $10^4$  КОЕ/мл, две станции: южные мысы бухты Суходол и бухты Большого Камня. Несомненно, это связано со спецификой завода, находящегося на берегу бухты Большого Камня, и, скорее всего, обусловлено использованием данного металла для задержки опасных излучений.

Из числа изучаемых нами элементов цинк и медь, если их присутствие не обусловлено гальваническими стоками или выплавкой металлов, являются трассерами коммунально-бытовых стоков [Христофорова и др., 2020]. На восьми из 38 станций медь-резистентных МО не зафиксировано, причем не только в двух местах, относящихся к заповедным территориям, но и в прибрежных водах г. Владивосток — у мысов Геллера (в вершине Уссурийского залива), Вилкова и даже Басаргина и Купера. Однако они обнаружены в бухте Сивучьей и особенно заметны в бухтах Суходол и Большого Камня ( $10^4$  КОЕ/мл) (рис. 3). Но если в бухте Сивучьей появление Cu-резистентных микроорганизмов вызвано, очевидно, трансграничным переносом загрязнения от соседних стран — КНР и КНДР, что было выявлено еще в 1990-е гг. [Вышкварцев, Лебедев, 1997; Мощенко и др., 2000; Шулькин, 2000; Чернова и др. 2002] и подтверждалось в последние годы [Христофорова, Кобзарь, 2017; Христофорова и др., 2018б], то в прибрежных водах г. Большой Камень такое количество устойчивых к меди микроорганизмов обусловлено, по-видимому, гальваническим стоком. Что касается отсутствия медь-резистентных МО на станциях с явно заметным антропогенным прессом, то известно, что при большом наборе ТМ микроорганизмы адаптируются и вырабатывают механизмы устойчивости к тем элементам, которые присутствуют в наибольшем количестве [Безвербная, 2002]. У мыса Басаргина, например, такими элементами являются никель и цинк.

В отличие от Cu-резистентных микроорганизмов, Zn-резистентные обнаруживаются чаще и в больших количествах, что соответствует большому кларку цинка, широкому распространению его в биосфере и высоким концентрациям в природных водах [Севрюков и др., 1976]. Но главное — это повсеместное использование цинка в быту и, как следствие, значительное содержание данного элемента в бытовых сточных водах. Выпуск изделий из пластмассы изменил ситуацию. Однако оцинкованные предметы и утварь продолжают использоваться как более прочные и более долговечные



преимущественно в сельском хозяйстве. Еще в начале 1980-х гг., сравнивая загрязнение тяжелыми металлами прибрежных вод Атлантики и Западной Пацифики по минеральному составу фукусовых водорослей, мы отметили существенные различия в концентрациях Zn (как свидетеля влияния человека на морскую среду) в макрофитах побережий Европы и малоосвоенных человеком прибрежий дальневосточных морей [Христофорова, Маслова, 1983]. Разница в фоновых уровнях содержания цинка составляла 2,5 раза (соответственно 50 и 18–20 мкг/г сух. массы).

Нулевые значения численности Zn-резистентных МО отмечены в малопосещаемой бухте Идол в зал. Китовом и в заповедной бухте Сивучей на юго-западе ЗПВ. Наибольшее количество этих микроорганизмов ( $10^4$  КОЕ/мл) зафиксировано у мысов Токаревского, Басаргина и Палец (рис. 3). Несомненно, что во всех трех случаях это обусловлено хозяйственно-бытовыми стоками. Мысы Токаревского и Басаргина — это конечные южные мысы п-ова Муравьева-Амурского, на котором расположен г. Владивосток. Мыс Палец испытывает влияние хозяйственно-бытовых стоков г. Большой Камень, но здесь, конечно, добавляется воздействие гальванических стоков судоремонтного предприятия.

Сравнение с данными обследования загрязнения зал. Петра Великого ТМ, выполненного в 1999 г. [Безвербная и др., 2003], показывает, что наши результаты в значительной степени близки к выявленному в конце 1990-х гг. состоянию залива. К совпадающим станциям относятся мысы Токаревского, Купера (бухта Федорова), Лагерный (Первая речка), Фирсова (Вторая речка), Лазурный (бухта Лазурная), район бухты Суходол, бухта Врангеля (риффы перед угольным пирсом) и скалы напротив современного терминала (бухта Козьмина).

Время внесло свои изменения как в характер, так и в объемы поступающих стоков в прибрежные воды. Так, получили развитие порты Владивосток, Восточный, в 2008 г. появился новый нефтеналивной порт в бухте Козьмина, т.е. возросло влияние на воды ЗПВ, обусловленное портовой деятельностью. Промышленные предприятия г. Владивосток, имевшие гальванические цеха и занимавшиеся металлообработкой, прекратили свое существование. Непосредственное развитие, сопровождающееся индустриальным прессом на среду, получил только г. Большой Камень. В то же время по сравнению с 1990-ми гг. уменьшилось влияние хозяйственно-бытовых стоков на прибрежную черту Владивостока в связи со строительством «Центральных», «Северных» и «Восточных» комплексных очистных сооружений. Несмотря на произошедшие перемены, сходство экологических ситуаций проявляется для таких станций, как мысы Токаревского, Лагерный, Фирсова, где наиболее велико влияние города и флота и где также заметно увеличился рекреационный пресс. В настоящее время вдоль береговой черты Владивостока выявляются Zn- и Ni-резистентные МО, свидетельствуя о мощном хозяйственно-бытовом и портовом воздействии, связанном с прохождением, стоянкой и заправкой судов как крупнотоннажного, так и маломерного флота. В предыдущих исследованиях 1999 г. авторы отмечали для Zn-резистентных МО фоновый уровень на всех городских станциях, обращенных к Амурскому заливу, для Ni-резистентных — незначительное превышение фона, за исключением мыса Токаревского, где наблюдалось ощутимое превышение ПДК для Ni. В настоящее время порт Владивосток приобрел новый статус, аналогичный порто-франко, что сопровождается увеличением загрязнения припортовых акваторий, обусловленного сжиганием углеводородного топлива, и обилием льяльных вод.

Бухта Лазурная в Уссурийском заливе с 1990-х гг. остается под действием преимущественно рекреационного пресса, что тождественно проявляется в уровне и характере воздействия на среду. Сохранились также места с повышенным индустриальным прессом. Свинец-резистентные МО в наибольших концентрациях были определены как в 1999 г., так и в 2021 г., в районе бухты Суходол, что связано с деятельностью завода «Звезда» и использованием этого металла для защиты от опасных излучений.

Данное исследование в бухтах Врангеля (риффы перед угольным пирсом) и Козьмина (скалы напротив современного терминала) выявило в настоящее время уменьшение количества свинец-резистентных МО, несомненно, обусловленное запрещением к использованию тетраэтилсвинцовой антидетонаторной добавки к топливу (закон РФ был принят в 2003 г.). Ранее наблюдалось повсеместное загрязнение окружающей среды свинцом (почвы, воды, воздуха), что и отмечалось нашими предшественниками [Безвербная и др., 2003], когда свинец-резистентные МО фиксировались в значительных количествах (превышая 1–3 ПДК) на большинстве станций. В нашей работе Cd-резистентные МО в наибольшем количестве зафиксированы у мыса Петровского, мимо которого идут все суда как в порт Восточный (бухта Врангеля), так и в бухту Козьмина, при сохранении общего фонового уровня в целом.

### **Заключение**

Таким образом, используя микробную индикацию, мы установили, что воды Дальневосточного морского заповедника на самом юго-западе зал. Петра Великого являются наиболее чистыми с наименьшим промышленным воздействием, обусловленным в основном трансграничным переносом поллютантов. Большой пресс техногенного воздействия испытывают воды залива у мысов Токаревского, Басаргина, Палец. Первый из них выделяется высокой численностью Cd-, Ni-, Zn-резистентных микроорганизмов, второй — Ni- и Zn-резистентных, третий — Cu-, Ni-, Zn-резистентных.

Отмечена характерная специфика в сосредоточении поллютантов в разных частях зал. Петра Великого. Так, станции с преобладанием Cu-резистентных микроорганизмов, с всплеском численности этих МО у мыса Петровского, сосредоточены преимущественно в восточной части залива, Zn-резистентных — на западной, Ni-резистентных — рассредоточены более или менее равномерно по всему заливу. Считаем, что преобладание цинка в сточных водах западной части ЗПВ отражает влияние большой плотности населения на этом побережье (города Владивосток, Артем, Большой Камень) и собственно бытового стока и поверхностного смыва, преобладание же меди в прибрежных водах восточной части ЗПВ обусловлено более «техническим» характером сточных вод, формируемых льяльными водами судов и портовой деятельностью.

Сравнение наших результатов с данными 1990-х гг., полученными для акваторий Амурского и Уссурийского заливов, а также зал. Находка по численности металл-резистентных МО, показало не только сохранение высокого антропогенного пресса, наблюдавшегося более 20 лет назад (для таких районов, как мысы Лагерный (Первая речка) и Фирсова (Вторая речка), а также бухта Лазурная), но и увеличение техногенного пресса, наиболее ярко проявившегося в прибрежных водах г. Большой Камень, мысов Токаревского и Петровского.

### **Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)**

Авторы благодарны рецензентам за ценные замечания, которые были учтены при подготовке настоящей рукописи к печати.

The authors are grateful to the reviewers for their valuable comments, which were taken into account.

### **Финансирование работы (FUNDING)**

Микробиологическая оценка морской среды проводилась при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FZNS-2023-0011.

Microbiological assessments for the study were supported by Ministry of Science and Higher Education of Russia, project No. FZNS-2023-0011.

## Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional principles for the care and use of animals have been observed.

The authors declare no conflict of interest.

## Список литературы

**Безвербная И.П.** Отклик микроорганизмов прибрежных акваторий Приморья на присутствие в среде тяжелых металлов : дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ДВГУ, 2002. — 177 с.

**Безвербная И.П., Димитриева Г.Ю., Тазаки К., Ватанабе Х.** Опыт оценки качества прибрежных морских вод Приморья на основе микробной индикации // Водные ресурсы. — 2003. — Т. 30, № 2. — С. 222–231.

**Будников Г.К.** Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных систем // Соросовский образовательный журнал. — 1998. — № 5. — С. 23–29.

**Бузолева Л.С., Безвербная И.П., Журавель Е.В., Калитина Е.Г.** Микробиологический анализ загрязнения окраинных морей северо-западной части Тихого океана // Океанол. — 2006. — Т. 46, № 1. — С. 55–62.

**Бузолева Л.С., Калитина Е.Г., Безвербная И.П., Кривошеева А.М.** Микробные сообщества поверхностных прибрежных вод бухты Золотой Рог в условиях высокого антропогенного загрязнения // Океанол. — 2008. — Т. 48, № 6. — С. 882–888.

**Бузолева Л.С., Кривошеева А.М.** Влияние тяжелых металлов на размножение патогенных бактерий // Успехи соврем. естествознания. — 2013. — № 7. — С. 30–33.

**Ващенко М.А.** Загрязнение залива Петра Великого Японского моря и его биологические последствия // Биол. моря. — 2000. — Т. 26, № 3. — С. 149–159.

**Вышкварцев Д.И., Лебедев Е.Б.** Проект экономического развития реки Туманган (TREDA) — угроза экосистеме мелководных бухт залива Посёта Японского моря // Биол. моря. — 1997. — Т. 23, № 1. — С. 51–55.

**Галышева Ю.А.** Особенности распределения макробентоса в прибрежных морских экосистемах Приморья // Изв. ТИНРО. — 2010. — Т. 163. — С. 286–296.

**Галышева Ю.А., Бойченко Т.В., Чиченко В.А.** Воздействие на залив Восток Японского моря: обзор истории и современных экологических проблем // Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов : сб. мат-лов 9-й междунар. науч.-практ. конф. — М. : ИРОК, 2022. — С. 158–163.

**Галышева Ю.А., Христофорова Н.К.** Среда и макробентос залива Восток Японского моря в условиях рекреационного воздействия // Изв. ТИНРО. — 2007. — Т. 149. — С. 270–309.

**Димитриева Г.Ю.** Планктонные и эпифитные микроорганизмы: индикация и стабилизация состояния прибрежных морских экосистем : дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток : ДВГУ, 1999. — 407 с.

**Димитриева Г.Ю., Безвербная И.П.** Микробная индикация — эффективный инструмент для мониторинга загрязнения прибрежных морских вод тяжелыми металлами // Океанология. — 2002. — Т. 42, № 3. — С. 408–415.

**Журавель Е.В., Безвербная И.П., Бузолева Л.С.** Микробная индикация загрязнения прибрежных вод Охотского моря и Авачинской бухты // Биол. моря. — 2004. — Т. 30, № 2. — С. 138–142.

**Калитина Е.Г., Михайлик Т.А., Семкин П.Ю. и др.** Особенности микробиологического состава вод реки Раздольной (южное Приморье) // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 180. — С. 187–197. DOI: 10.26428/1606-9919-2015-180-187-197.

**Клинская Е.О., Христофорова Н.К.** Биогеохимическая оценка состояния придорожных зон городов Дальнего Востока по содержанию тяжелых металлов в одуванчиках // Ученые записки КнАГТУ. — 2011. — Т. 1, № 5. — С. 89–92.

**Кобзарь А.Д., Христофорова Н.К.** Мониторинг загрязнения прибрежных вод Амурского залива (Японское море) тяжелыми металлами с использованием бурой водоросли *Sargassum miyabei* Yendo, 1907 // Биол. моря. — 2015. — Т. 41, № 5. — С. 361–365.

**Лукьянова О.Н., Черкашин С.А., Симоков М.В.** Обзор современного экологического состояния залива Петра Великого (2000–2010 гг.) // Вестн. ДВО РАН. — 2012. — № 2. — С. 55–63.

- Михайлов В.В.** Морские гетеротрофные микроорганизмы — продуценты физиологически активных веществ : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток : ДВО РАН, 1995. — 46 с.
- Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М. и др.** Современное загрязнение донных отложений и экологическое состояние макрозообентоса в прибрежной зоне Владивостока (залив Петра Великого Японского моря) // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 196. — С. 155–181. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-196-155-181.
- Мощенко А.В., Ванин Н.С., Ламыкина А.Е.** Рельеф дна, донные отложения и гидрологические условия российской части приустьевой зоны реки Туманной // Экологическое состояние и биота юго-западной части залива Петра Великого и устья реки Туманной. — Владивосток : Дальнаука, 2000. — Т. 1. — С. 42–75.
- Наливайко Н.Г.** Микробиология воды : учеб. пособие. — Томск : Изд-во Томского политехн. ун-та, 2006. — 139 с.
- Общая и санитарная микробиология с техникой микробиологических исследований :** учеб. пособие для учащихся мед. и фармацевт. училищ и колледжей / под ред. А.С. Лабинской, Л.П. Блинковой, А.С. Ещиной. — М. : Медицина, 2004. — 576 с.
- Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений /** под ред. А.В. Цыбань. — Л. : Гидрометеиздат, 1980. — 193 с.
- Севрюков Н.Н., Кузьмин Б.А., Челищев Е.В.** Общая металлургия : учеб. для вузов, 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Металлургия, 1976. — 568 с.
- Тюрин А.Н.** Морской заказник «Залив Восток» // Биол. моря. — 1996. — Т. 22, № 1. — С. 58–63.
- Христофорова Н.К.** Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжелыми металлами : моногр. — Л. : Наука, 1989. — 192 с.
- Христофорова Н.К., Бойченко Т.В., Кобзарь А.Д.** Гидрохимическая и микробиологическая оценка современного состояния прибрежных вод залива Восток // Вестн. ДВО РАН. — 2020. — № 2(210). — С. 64–72. DOI: 10.37102/08697698.2020.210.2.008.
- Христофорова Н.К., Галышева Ю.А., Коженкова С.И.** Оценка антропогенного воздействия на залив Восток (Японского моря) по флористическим показателям макробентоса // Докл. РАН. — 2005. — Т. 405, № 6. — С. 819–821.
- Христофорова Н.К., Емельянов А.А., Ефимов А.В.** Биоиндикация загрязнения прибрежно-морских вод о. Русского (залив Петра Великого, Японское море) тяжелыми металлами // Изв. ТИНРО. — 2018а. — Т. 192. — С. 157–166. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-192-157-166.
- Христофорова Н.К., Кобзарь А.Д., Бойченко Т.В., Попова А.В.** Биоиндикация состояния вод залива Посыета (залив Петра Великого, Японское море) // Биота и среда заповедных территорий. — 2018б. — № 1. — С. 92–99.
- Христофорова Н.К., Журавель Е.В., Миронова Ю.А.** Рекреационное воздействие на залив Восток (Японское море) // Биол. моря. — 2002. — Т. 22, № 4. — С. 300–303.
- Христофорова Н.К., Кавун В.Я.** Мониторинг состояния вод дальневосточных морей по мидиям-обрастателям навигационных буев // ДАН СССР. — 1988. — Т. 300, № 5. — С. 1274–1276.
- Христофорова Н.К., Кобзарь А.Д.** Бурые водоросли-макрофиты как индикаторы загрязнения вод бухты Рудной тяжелыми металлами // Изв. ТИНРО. — 2012. — Т. 168. — С. 220–231.
- Христофорова Н.К., Кобзарь А.Д.** Оценка экологического состояния залива Посыета (Японское море) по содержанию тяжелых металлов в бурых водорослях-макрофитах // Самарский научный вестник. — 2017. — Т. 6, № 2(19). — С. 91–95.
- Христофорова Н.К., Лазарюк А.Ю., Журавель Е.В. и др.** Залив Восток: межсезонные изменения гидролого-гидрохимических и микробиологических показателей // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 4. — С. 906–924. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-906-924. EDN: MLAGTH.
- Христофорова Н.К., Лосева Я.П.** От худшего до удовлетворительного. Сравнительная оценка уровней очистки сточных вод действующих КОС г. Владивостока // Вода Magazine. — 2014. — № 10(86). — С. 32–37.
- Христофорова Н.К., Маслова Л.М.** Сравнительная оценка загрязнения тяжелыми металлами прибрежных районов вод Атлантики и Западной Пацифики по минеральному составу фукусовых водорослей // Биол. моря. — 1983. — Т. 9, № 1. — С. 3–10.
- Христофорова Н.К., Чернова Е.Н.** Оценка экологической ситуации в вершине Амурского залива Японского моря по микроэлементному составу гигантской устрицы // Биол. моря. — 1991. — Т. 17, № 5. — С. 75–82.
- Цыбань А.В., Панов Т.В., Баринова С.П.** Индикаторная микрофлора в Балтийском море // Исследование экосистемы Балтийского моря. — Л. : Гидрометеиздат, 1990. — Вып. 3. — С. 69–83.



**Чернова Е.Н., Христофорова Н.К., Вышкварцев Д.И.** Тяжелые металлы в морских травах и водорослях залива Посыета Японского моря // Биол. моря. — 2002. — Т. 28, № 6. — С. 425–430.

**Шулькин В.М.** Оценка загрязнения металлами вод реки Туманной и прилегающих морских вод // Экологическое состояние и биота юго-западной части залива Петра Великого и устья реки Туманной. — Владивосток : Дальнаука, 2000. — Т. 1. — С. 76–85.

**Шулькин В.М., Кавун В.Я.** Концентрация металлов в тканях мидии *Septifer bilocularis* (Linnaeus, 1758) (*Bivalvia*) как возможный индикатор качества вод коралловых рифов у побережья Вьетнама // Биол. моря. — 2018. — Т. 44, № 1. — С. 58–65.

**Яценко И.Г.** Тяжелые ванадиевые нефти России // Изв. ТПУ. — 2012. — Т. 321, № 1. — С. 105–111.

**Cossa D.A.** A review of the use of *Mytilus* spp. as quantitative indicators of cadmium and mercury contamination in coastal waters // Oceanol. Acta. — 1989. — Vol. 12(4). — P. 417–432.

**Gadd G.M.** Bioremedial potential of microbial mechanisms of metal mobilization and immobilization // Curr. Opin. Biotechnol. — 2000. — Vol. 11(3). — P. 271–279. DOI: 10.1016/S0958-1669(00)00095-1.

**Gadd G.M.** Heavy metal accumulation by bacteria and other microorganisms // Cellular and Molecular Life Sciences. — 1990. — Vol. 46. — P. 834–840. DOI: 10.1007/BF01935534.

**Goldberg E.D.** The mussel watch concept // Environ. Monit. Assess. — 1986. — Vol. 7. — P. 91–103.

**Nies D.H.** Microbial heavy-metal resistance // Appl. Microbial. Biotechnol. — 1999. — Vol. 51(6). — P. 730–750. DOI: 10.1007/s002530051457.

**Youchimizu M., Kimura T.** Study on the intestinal microflora on the Salmonids // Fish. Pathol. — 1976. — Vol. 10, № 2. — P. 243–259. DOI: 10.3147/jsfp.10.243.

## References

**Bezverbnaya, I.P.,** The response of microorganisms in the coastal waters of Primorye to the presence in the environment of heavy metals, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: Dal'nevost. Gos. Univ., 2002.

**Bezverbnaya, I.P., Dimitrieva, G.Yu., Tazaki, K., and Vatanabe, H.,** Evaluation of sea water quality in the coastal zone of Primor'e using the method of microbial indication, *Water Resources*, 2003, vol. 30, no. 2, pp. 199–208. doi 10.1023/A:1022922206147.

**Budnikov, G.K.,** Heavy metals in environmental monitoring of marine systems, *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal*, 1998, no. 5, pp. 23–29.

**Buzoleva, L.S., Bezverbnaya, I.P., Zhuravel', E.V., and Kalitina, E.G.,** Microbiological analysis of the contamination of marginal seas in the northwestern part of the Pacific Ocean, *Oceanology*, 2006, vol. 46, no. 1, pp. 50–56. doi 10.1134/S0001437006010061.

**Buzoleva, L.S., Kalitina, E.G., Bezverbnaya, I.P., and Krivosheeva, A.M.,** Microbial communities in the coastal surface waters of Zolotoi Rog Bay under the conditions of strong anthropogenic pollution, *Oceanology*, 2008, vol. 48, no. 6, pp. 819–825.

**Buzoleva, L.S., and Krivosheeva, A.M.,** Effects of heavy metals on pathogens bacteria, *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2013, no. 7, pp. 30–33.

**Vashchenko, M.A.,** Pollution in Peter the Great Bay, Sea of Japan, and its biological consequences, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2000, vol. 26, no. 3, pp. 155–166.

**Vyshkvartsev, D.I. and Lebedev, E.B.,** The project of economic development of the Tumangan River — a danger for shallow water bay ecosystems of Posyeta Bay, Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 1997, vol. 23, no. 1, pp. 101–107.

**Galyшева, Yu.A.,** Features of macrobenthos distribution in coastal marine ecosystems at Primorye (Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2010, vol. 163, pp. 286–296.

**Galyшева, Yu.A., Boychenko, T.V., and Chichenko, V.A.,** Impacts on the Vostok Bay of the Sea of Japan: a review of history and contemporary environmental issues, in *Sb. mater. 9-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Aktual'nyye problemy nauki i obrazovaniya v usloviyakh sovremennykh vyzovov"* (Sat. mater. of the 9<sup>th</sup> international. scientific-practical. conf. "Current problems of science and education in the context of modern challenges"), Moscow: IROK, 2022, pp. 158–163.

**Galyшева, Yu.A. and Khristoforova, N.K.,** Environments and macrobenthos in the Vostok Bay (Japan Sea) in conditions of anthropogenic impact, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2007, vol. 149, pp. 270–309.



**Dimitrieva, G.Yu.**, Plankton and epiphytic microorganisms: indication and stabilization of the state of coastal marine ecosystems, *Dr. Biol. Sci. Dissertation*, Vladivostok: Dal'nevost. Gos. Univ., 1999.

**Dimitrieva, G.Yu. and Bezverbnaya, I.P.**, Microbial indication as an effective technique for monitoring the contamination of near-shore seawaters by heavy metals, *Oceanology*, 2002, vol. 42, no. 3, pp. 388–395.

**Zhuravel, E.V., Bezverbnaya, I.P., and Buzoleva, L.S.**, Microbial indication of pollution of the coastal zone of the Sea of Okhotsk and Avacha Bay, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2004, vol. 30, no. 2, pp. 121–126. doi 10.1023/B:RUMB.0000025988.87193.c2

**Kalitina, E.G., Mikhailik, T.A., Semkin, P.Yu., Barabanshchikov, Yu.A., and Zorin, S.A.**, Features of microbiological composition for water from the Razdolnaya River (southern Primorye), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 180, pp. 187–197. doi 10.26428/1606-9919-2015-180-187-197

**Klinskaya, E.O. and Khristoforova, N.K.**, Ogeochemical estimation of the condition of the road reserve in the Far East of the Russian Federation by the heavy metal content in dandelions, *Uchenyye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, vol. 1, no. 5, pp. 89–92.

**Kobzar, A.D. and Khristoforova N.K.**, Monitoring heavy-metal pollution of the coastal waters of Amursky Bay (Sea of Japan) using the brown alga *Sargassum miyabei* Yendo, 1907, *Russ. J. Mar. Biol.*, vol. 41, no. 5, pp. 384–388. doi 10.1134/S1063074015050065

**Lukyanova, O.N., Cherkashin, S.A., and Simokon, M.V.**, The review of modern ecological state of Peter the Great Bay (2000–2010), *Vestn. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2012, no. 2, pp. 55–63.

**Mikhailov, V.V.**, Marine heterotrophic microorganisms — producers of physiological active substances, *Extended Abstract of Doctoral (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk, 1995.

**Moshchenko, A.V., Belan, T.A., Borisov, B.M., Lishavskaya, T.S. and Sevastianov, A.V.**, Modern contamination of bottom sediments and ecological state of macrozoobenthos in the coastal zone at Vladivostok (Peter the Great Bay, Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 196, pp. 155–181. doi 10.26428/1606-9919-2019-196-155-181

**Moshchenko, A.V., Vanin N.S., and Lamykina, A.E.**, Bottom relief, sediments and hydrological condition of the mouth area of Tumannaya River, in *Ecological condition and biota of southwest part of the Peter the Great Bay and mouth of the Tumannaya River*, Vladivostok: Dal'nauka, 2000, vol. 1, pp. 42–75.

**Nalyvayko, N.G.**, *Mikrobiologiya vody* (Microbiology of water), Tomsk: Izd-vo Tomskogo Politekh. Univ., 2006.

*Obshchaya i sanitarnaya mikrobiologiya s metodami mikrobiologicheskikh issledovaniy* (General and sanitary microbiology with methods of microbiological research), Labinskaya, A.S., Blinkova, L.P., and Yeshchina, A.S., eds., Moscow: Meditsina, 2004.

*Rukovodstvo po metodam biologicheskogo analiza morskoy vody i donnykh otlozheniy* (Guide to methods of biological analysis of sea water and bottom sediments), Tsyban, A.V., ed., Leningrad: Gidrometeoizdat, 1980.

**Sevryukov, N.N., Kuz'min, B.A., and Chelishchev, Ye.V.**, *Obshchaya metallurgiya* (General metallurgy), Moscow: Metallurgiya, 1976, 3<sup>rd</sup> ed.

**Tyurin, A.N.**, Marine reserve “Vostok Bay”, *Russ. J. Mar. Biol.*, 1996, vol. 22, no. 1, pp. 58–63.

**Khristoforova, N.K.**, *Bioindikatsiya i monitoring zagryazneniya morskikh vod tyazhelymi metal-lami* (Bioindication and monitoring of sea water pollution with heavy metals), Leningrad: Nauka, 1989.

**Khristoforova, N.K., Boychenko, T.V., and Kobzar A.D.**, Hydrochemical and microbiological assessment of the current state of the Vostok Bay, *Vestn. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2020, no. 2(210), pp. 64–72. doi 10.37102/08697698.2020.210.2.008

**Khristoforova, N.K., Galysheva, Yu.A., and Kozhenkova, S.I.**, Assessment of human impact on Vostok Bay (Sea of Japan): Evidence from macrobenthic algae, *Dokl. Earth Sci.*, 2005, vol. 405A, no. 9, pp. 1423–1425.

**Khristoforova, N.K., Emelyanov, A.A., and Efimov, A.V.**, Bioindication of heavy-metal pollution in the coastal marine waters off Russky Island (Peter the Great Bay, Sea of Japan), *Russ. J. Mar. Biol.*, 2018, vol. 44, no. 7, pp. 572–579. doi 10.1134/S1063074018070040

**Khristoforova, N.K., Kobzar, A.D., Boychenko, T.V., and Popova, A.V.**, Bioindication of the water quality of Posyet Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan), *Biota i sreda zapovednykh territoriy*, 2018, no. 1, pp. 92–99.

**Khristoforova, N.K., Zhuravel, E.V., and Mironova, Yu.A.**, Recreational effects in Vostok Bay, Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2002, vol. 28, no. 4, pp. 274–277. doi 10.1023/A:1020233429568

**Khristoforova, N.K. and Kavun, V.Y.**, Monitoring the state of the waters of far east seas using mussels growing on navigational buoys, *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 1988, vol. 300, no. 1–6, pp. 231–233.

**Khristoforova, N.K., and Kobzar, A.D.**, Brown algae as indicators of water pollution by heavy metals in the Rudnaya Bay (Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2012, vol. 168, pp. 220–231.

**Khristoforova, N.K. and Kobzar, A.D.**, Assessment of ecological state of the Posyet Bay (the Sea of Japan) by heavy metals content in brown algae, *Samarskiy nauchnyy vestnik*, 2017, vol. 6, no. 2, pp. 91–95.

**Khristoforova, N.K., Lazaryuk, A.Yu., Zhuravel, E.V., Boychenko, T.V., and Emelyanov, A.A.**, Vostok Bay: interseasonal changes in hydrological, hydrochemical and microbiological properties, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 4, pp. 906–924. doi 10.26428/1606-9919-2023-203-906-924. EDN: MLAGTH.

**Khristoforova, N.K. and Loseva, Y.P.**, From worst to satisfactory. Comparative assessment of wastewater treatment levels of existing WWTPs in Vladivostok, *Voda Magazine*, 2014, no. 10(86), pp. 32–37.

**Khristoforova, N.K. and Maslova, L.M.**, Estimation of heavy metal contamination of the Atlantic and western Pacific coastal by mineral composition of furoid algae, *Russ. J. Mar. Biol.*, 1983, vol. 9, no. 1, pp. 3–10.

**Khristoforova, N.K. and Chernova, E.N.**, Assessment of the situation at the top of the Amur Bay of the Sea of Japan based on the mineral composition of the giant oyster, *Russ. J. Mar. Biol.*, 1991, vol. 17, no. 5, pp. 75–82.

**Tsyban, A.V., Panov, T.V., and Barinova, S.P.**, Indicator microflora in the Baltic Sea, in *Issledovaniye ekosistemy Baltiyskogo moray* (Study of the Baltic Sea ecosystem), Leningrad: Gidro-meteoizdat, 1990, vol. 3, pp. 69–83.

**Chernova, E.N., Khristoforova, N.K., and Vyshkvartsev, D.I.**, Heavy Metals in seagrasses and algae of Posyet Bay, the Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2002, vol. 28, no. 6, pp. 425–430.

**Shulkin, V.M.**, Assessment of metal pollution in the waters of the Tumannaya River and adjacent sea waters, in *Ekologicheskoye sostoyaniye i biota yugo-zapadnoy chasti zaliva Petra Velikogo i ust'ya reki Tumannoy* (Ecological state and biota of the southwestern part of Peter the Great Bay and the mouth of the Tumannaya River), Vladivostok: Dal'nauka, 2000, vol. 1, pp. 76–85.

**Shulkin, V.M., and Kavun, V.Ya.**, The concentrations of trace metals in the soft tissues of the mytilid mollusk *Septifer bilocularis* (Linnaeus, 1758) as a possible indicator of water quality at coastal coral reefs of Vietnam, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2018, vol. 44, no. 1, pp. 75–83. doi 10.1134/S1063074018010108

**Yashchenko, I.G.**, Heavy vanadium-bearing oils of Russia, *Izv. Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, 2012, vol. 321, no. 1, pp. 105–111.

**Cossa, D.A.**, A review of the use of *Mytilus* spp. as quantitative indicators of cadmium and mercury contamination in coastal waters, *Oceanol. Acta*, 1989, vol. 12(4), pp. 417–432.

**Gadd, G.M.**, Bioremedial potential of microbial mechanisms of metal mobilization and immobilization, *Curr. Opin. Biotechnol.*, 2000, vol. 11(3), pp. 271–279. doi 10.1016/s0958-1669(00)00095-1

**Gadd, G.M.**, Heavy metal accumulation by bacteria and other microorganisms, *Cellular and Molecular Life Sciences*, 1990, vol. 46, pp. 834–840. doi 10.1007/BF01935534

**Goldberg, E.D.**, The mussel watch concept, *Environ. Monit. Assess.*, 1986, vol. 7, pp. 91–103.

**Nies, D.H.**, Microbial heavy-metal resistance, *Appl. Microbial. Biotechnol.*, 1999, vol. 51(6), pp. 730–750. doi 10.1007/s002530051457

**Youchimizu, M. and Kimura, T.**, Study on the intestinal microflora on the Salmonids, *Fish. Pathol.*, 1976, vol. 10, no. 2, pp. 243–259. doi 10.3147/jsfp.10.243

*Kadmiy: ekologicheskiye aspekty* (Cadmium: environmental aspects), Moscow: Meditsina, 1994.

**Bashkin, V.N., Galiulin, R.V., and Galiulina, R.D.**, *Heavy metals in oil. How to deal with them and where to use them?* <http://neftegaz.ru/analysis/view/8121-Tyazhelye-metally-v-nefti.-Kaks-nimi-borotsya-i-gde-primenyat>. Cited January 23, 2024.

Поступила в редакцию 18.10.2024 г.

После доработки 11.11.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

The article was submitted 18.10.2024; approved after reviewing 11.11.2024;

accepted for publication 10.12.2024